## *М.И. БАРАНОВ*, д-р техн. наук, главн. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОЛУВОЛН В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С РАЗНОРОДНЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНИКАМИ И ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ БОЛЬШОЙ ПЛОТНОСТИ

Приведены результаты теоретического исследования изменения параметров электронных полуволн де Бройля в случае их распространения в одной электрической цепи вдоль металлических проводников с различными длинами и поперечными сечениями. Показано, что подобная трансформация параметров дебройлевских электронных полуволн касается как их длины, так и ширины «горячих» продольных участков разнородных проводников.

**Ключевые слова:** электрическая цепь, металлический проводник, дрейфующие электроны, импульсный ток проводимости, электронные полуволны, характеристики продольного волнового распределения свободных электронов.

**Введение.** Протекание в электрической цепи тока проводимости  $i_0(t)$  тех или иных видов (постоянного, переменного и импульсного) различной плотности  $\delta_0$  по твердым металлическим проводникам длиной  $l_0$  и поперечным сечением S<sub>0</sub>, как известно, сопровождается распространением в их кристаллической структуре квантованных электронных полуволи де Бройля [1-3]. Причем, применительно к круглым проводникам электрической цепи с током различных амплитудно-временных параметров (АВП) данные дебройлевские полуволны будут распространяться как в их продольном, так и радиальном направлениях [4]. Кроме того, наложение (суперпозиция) этих полуволн будет вызывать появление в структуре указанных проводников волновых электронных пакетов (ВЭП), образующих в проводящем материале проводников макроскопические периодические как продольные, так и радиальные структуры [5]. Характерной особенностью данных волновых структур проводника будет являться наличие в них относительно «горячих» и «холодных» продольных и радиальных участков, температура материала которых может существенно отличаться друг от друга [6]. Физической причиной тому является различная плотность (концентрация) дрейфующих свободных электронов на «горячих» и «холодных» участках проводника с током  $i_0(t)$ . На «горячих» участках проводника она больше, а на его «холодных» участках она меньше первоначальной усредненной плотности ne0 свободных электронов в материале проводника без тока [7]. Вот поэтому в проводящей структуре проводника с током  $i_0(t)$  становится возможным формирование неоднородного периодического продольного (радиального) температурного поля, ширина наиболее нагретых зон которого и соответственно ширина «горячих» участков

© М.И. Баранов, 2014

проводника будет определяться величиной плотности тока  $\delta_0$  в проводнике [3, 4]. Представленные в [1–7] теоретические и экспериментальные результаты исследований продольного волнового распределения дрейфующих электронов и теплового поля в металлических проводниках с током проводимости различных АВП были получены для однородных проводников, имеющих одинаковые длины  $l_0$  и поперечные сечения  $S_0$ . А каковы будут рассматриваемые электронные распределения для слабо- и сильноточной электрической цепи, содержащей параллельно или последовательно соединенные между собой металлические проводники различной длины и различного поперечного сечения? Прямого ответа на данный электротехнический вопрос электрофизической направленности в ранее опубликованных работах [1–7] не содержится. Именно определенному рассмотрению этой проблемной задачи и посвящена предлагаемая статья.

1. Постановка задачи исследования. Рассмотрим линейную электрическую цепь, содержащую последовательно соединенные между собой два прямолинейных металлических проводника, один из которых имеет длину  $l_1$ и поперечное сечение  $S_1$ , а другой – соответственно длину  $l_2$  и поперечное сечение  $S_2$ . Считаем, что твердый проводящий материал данных проводников обладает свойствами изотропности и линейности. Пусть по рассматриваемым проводникам протекает аксиальный импульсный ток *i*<sub>0</sub>(*t*), АВП которого удовлетворяют требованиям большого импульсного тока (БИТ) [8]. Принимаем, что с учетом протекания БИТ с заданными АВП по указанным проводникам усредненные величины плотностей токов  $\delta_1 = i_0/S_1$  и  $\delta_2 = i_0/S_2$  в них могvт принимать численные значения до (1-10) кА/мм<sup>2</sup>. Данные значения δ<sub>1</sub> и  $\delta_2$  будут определять (вызывать) появление в зоне ВЭП исследуемых проводников таких длин (ширин) «горячих» продольных участков  $\Delta z_{21}$  и  $\Delta z_{22}$  в них, численные значения которых могут составлять до (1-10) мм [4,8]. Требуется исследовать возможные изменения параметров квантованных дебройлевских электронных полуволн при их распространении вдоль рассматриваемых металлических проводников, включенных в одну электрическую цепь.

2. Случай последовательного соединения в электрической цепи металлических проводников различной длины и одинакового поперечного сечения. На рис. 1 в схематическом виде приведен рассматриваемый случай, характеризующийся наличием в одной электрической цепи с импульсным током  $i_0(t)$  двух последовательно соединенных металлических проводников одинакового поперечного сечения  $S_1 = S_2$  и различной длины  $l_1 > l_2$ . Известно, что квантованные длины  $\lambda_{en1}/2$  и  $\lambda_{en2}/2$  дебройлевских электронных полуволн в тех или иных металлах исследуемых проводников с током проводимости различных АВП будут выбираться из следующих соотношений [3,4]:

$$\lambda_{en1}/2 = l_1/n \,; \tag{1}$$

$$\lambda_{en2}/2 = l_2/n, \qquad (2)$$

где  $n = 1,2,3,...,n_m$  – целочисленное значение квантового числа n, имеющего максимальное значение  $n_m = 2 n_k^2$ ;  $n_k$  – главное квантовое число, равное числу электронных оболочек в изолированном атоме металла проводника и соответственно номеру периода в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева, которому этот металл нашего проводника принадлежит [9].

Из (1) и (2) видно, что на длинах  $l_1$  и  $l_2$  исследуемых проводников с импульсным током проводимости  $i_0(t)$  будет всегда укладываться целое квантованное число электронных полуволн де Бройля. Численное значение квантового числа *n* для них будет определяться энергетическим состоянием свободных электронов в момент приложения к рассматриваемой электрической цепи разности электрических потенциалов (напряжения источника питания).



Рисунок 1 – Схематическое изображение последовательного соединения в цепи исследуемых металлических проводников 1 и 2 одинакового поперечного сечения  $S_1 = S_2$  и различной длины  $l_1 > l_2$  с импульсным аксиальным током  $i_0(t)$  большой плотности

В [4] было показано, что усредненное значение  $\overline{n}$  для целого квантового числа n можно определять из следующего приближенного соотношения:

$$\overline{n} = (n_m - 1) / (\ln n_m) \,. \tag{3}$$

Для рассматриваемого нами случая I возможны два варианта реализации проводников 1 и 2 одинакового сечения  $S_1 = S_2$  и различной длины  $l_1 > l_2$ . Первый вариант – электропроводящий материал проводников идентичен. Тогда для усредненных длин  $\lambda_{en1}^*/2$  и  $\lambda_{en2}^*/2$  продольных электронных полуволн в исследуемых проводниках можно записать следующее соотношение:

$$\lambda_{en1}^* / 2 = \lambda_{en2}^* / 2 = (l_1 + l_2) / \overline{n} .$$
(4)

Из (4) видно, что для этого варианта случая I трансформации (преобразования) дебройлевских электронных полуволн (волн) при их прохождении в исследуемых проводниках происходить не будет. Эти проводники будут вести себя как единый металлический проводник эквивалентной длины  $(l_1 + l_2)$ .

Второй вариант случая I предусматривает использование в проводниках 1 и 2 различных электропроводящих материалов. Для данного варианта реализации изучаемых проводников 1 и 2 будут справедливы следующие расчетные формулы для электронных полуволн (волн) де Бройля в их материалах:

$$\lambda_{en1}^* / 2 = l_1 / \overline{n}_1 ; \qquad (5)$$

$$\lambda_{en2}^*/2 = l_2/\overline{n}_2, \qquad (6)$$

где  $\overline{n}_1$ ,  $\overline{n}_2$  – соответственно усредненные значения целого квантового числа *n* для проводников 1 и 2 рассматриваемой линейной электрической цепи.

В результате из выражений (3), (5) и (6) для отношения усредненных квантованных длин  $\lambda_{en1}^*$  и  $\lambda_{en2}^*$  электронных волн или полуволн де Бройля в исследуемых разнородных проводниках, выполненных из различных электропроводящих материалов, для одной и той же цепи с током  $i_0(t)$  находим:

$$\lambda_{en1}^* / \lambda_{en2}^* = l_1 \ \overline{n}_2 / (l_2 \ \overline{n}_1).$$
<sup>(7)</sup>

Воспользовавшись соотношением неопределенностей Гейзенберга [8,9] применительно к локализующимся на «горячих» продольных участках рассматриваемых проводников дрейфующим свободным электронам, для усредненных значений ширин (длин)  $\Delta z_{21}^*$  и  $\Delta z_{22}^*$  их «горячих» продольных участков, соответствующих макроскопическим зонам ВЭП металлических проводников с импульсным аксиальным током  $i_0(t)$  различных АВП, получаем:

$$\Delta z_{21}^{*} = l_1 / (2\pi \, \overline{n}_1 \,); \tag{8}$$

$$\Delta z_{22}^* = l_2 / (2\pi \,\overline{n}_2). \tag{9}$$

Результаты экспериментов по обнаружению и исследованию ВЭП, «горячих» и «холодных» продольных участков в одиночном круглом оцинкованном стальном проводе ( $n_k = 4$ ;  $n_m = 32$ ;  $\overline{n} = 9$ ) длиной  $l_0 = 320$  мм и диаметром 1,6 мм ( $S_0 = 2,01 \text{ мм}^2$ ), включенном в разрядную цепь мощной высоковольтной конденсаторной батареи генератора ГИТ-С (зарядное напряжение батареи  $U_{3\Gamma} = 3.7$  кВ; запасаемая энергия батареи  $W_{\Gamma} = 310$  кДж) и испытывающем воздействие апериодического импульса аксиального тока  $i_0(t)$  временной формы 9 мс/576 мс амплитудой  $I_{0m} = 745$  А (при амплитуде плотности тока в проводе  $\delta_{0m} = I_{0m} / S_0 = 0,37$  кА/мм<sup>2</sup>) [4,8], подтверждают достоверность расчетных соотношений (8) и (9). Так, в ходе указанных экспериментальных исследований было установлено, что в оцинкованном стальном проводе с используемым в опытах импульсным током большой плотности усредненная ширина (длина)  $\Delta z_2^*$  «горячих» продольных участков составляла около 7 мм [4,8]. Расчетная оценка по соотношениям (8) и (9) численных значений усредненной ширины  $\Delta z_2^* = \Delta z_{21}^* = \Delta z_{22}^*$  «горячих» продольных участков для указанного стального провода ( $l_0 = l_1 = l_2 = 320$  мм;  $\overline{n} = \overline{n}_1 = \overline{n}_2 = 9$ ) с принятым импульсным аксиальным током показывает, что она составляет

около 5,7 мм.

Тогда из (8) и (9) для отношения квантованных ширин «горячих» продольных участков на исследуемых проводниках с принятым током следует:

$$\Delta z_{21}^* / \Delta z_{22}^* = l_1 \ \overline{n}_2 / (l_2 \ \overline{n}_1).$$
<sup>(10)</sup>

Из (7) и (10) следует, что для второго варианта случая I (применение различных проводящих материалов в проводниках 1 и 2) отношения усредненных длин  $\lambda_{en1}^*$  и  $\lambda_{en2}^*$  дебройлевских электронных волн (полуволн) и усредненных ширин (длин)  $\Delta z_{21}^*$  и  $\Delta z_{22}^*$  «горячих» продольных участков в проводниках 1 и 2 оказываются равными одной и той же величине  $l_1 \bar{n}_2/(l_2 \bar{n}_1)$ .

Из (7) и (10) вытекает, что в линейной электрической цепи, содержащей последовательно соединенные между собой металлические проводники одинакового поперечного сечения  $S_1 = S_2$  из различного электропроводящего материала при их различной длине  $l_1 > l_2$ , в случае протекания в ней импульсного аксиального тока  $i_0(t)$  различных АВП будет наблюдаться определенная трансформация распространяющихся вдоль нее дебройлевских электронных полуволн (волн). Данная трансформация или деформация будет проявляться в виде изменения как длин  $\lambda_{en1}$  (или  $\lambda_{en1}^*$ ) и  $\lambda_{en2}$  (или  $\lambda_{en2}^*$ ) рассматриваемых электронных волн (полуволн), так и соответственно ширин (длин)  $\Delta z_{21}^*$  и  $\Delta z_{22}^*$  «горячих» продольных участков при переходе электромагнитного возбуждения от кристаллической структуры одного из проводников к другому. Причем, эти изменения будут прямо пропорциональны отношению длин  $l_1/l_2$  используемых металлических проводников. В исследуемом проводнике 1 с бо́льшей длиной (в нашем случае с длиной  $l_1 > l_2$ ) бо́льшими будут и длины  $\lambda_{en1} > \lambda_{en2}$  (или  $\lambda_{en1}^* > \lambda_{en2}^*$ ) электронных волн (полуволн) де Бройля, распространяющихся в его кристаллической структуре. При этом в металлическом проводнике 1 с большей длиной  $l_1 > l_2$  бо́льшими оказываются и ширины  $\Delta z_{21}^* > \Delta z_{22}^*$  «горячих» продольных участков, периодически возникающих вдоль него во всех зонах его ВЭП макроскопических размеров. Этот теоретический результат имеет важное практическое значение при реализации электровзрывной технологии получения мелкодисперсных проводящих материалов с входящими в их состав микро- и наночастицами, основанной на быстром электрическом взрыве (ЭВ) в газовой или конденсированной средах тонких металлических проводников [10-12]. Данный результат будет способствовать обоснованному выбору для указанной электротехнологии значений длин тонких проводников из различных металлов, используемых при их ЭВ.

3. Случай последовательного соединения в электрической цепи металлических проводников различного поперечного сечения и одинаковой длины. В схематическом виде этот электротехнический случай представлен на рис. 2. Для лучшего понимания применяемого автором методологического подхода при исследовании здесь новых особенностей в волновых распределениях дрейфующих свободных электронов в металлических проводниках необходимо отметить, что используемые нами простейшие соединения рассматриваемых проводников в одной и той же линейной электрической цепи с импульсным током  $i_0(t)$  позволяют однозначным и ясным образом выяснить влияние, прежде всего, геометрических параметров этих гомогенных проводников на характер распределения в них дебройлевских электронных полуволн (волн). Для случая II также возможны два варианта реализации применяемых в цепи проводников: первый вариант предусматривает использование в проводниках 1 и 2 одинаковых проводящих материалов, а второй вариант – различных проводящих материалов. Начнем исследование с первого варианта.



Рисунок 2 – Схематическое изображение последовательного соединения в цепи исследуемых металлических проводников 1 и 2 различного поперечного сечения  $S_1 > S_2$  и одинаковой длины  $l_1 = l_2$  с импульсным аксиальным током  $i_0(t)$  большой плотности

Используя фундаментальное волновое соотношение де Бройля, запишем выражения для усредненных длин  $\lambda_{en1}^*/2$  и  $\lambda_{en2}^*/2$  продольных электронных полуволн в рассматриваемых разнородных проводниках из идентичного материала одной и той же линейной электрической цепи, приведенной на рис. 2:

$$\lambda_{en1}^{*}/2 = h/(2m_{e}v_{en1}^{*}); \qquad (11)$$

$$\lambda_{en2}^{*}/2 = h/(2m_{e}v_{en2}^{*}), \qquad (12)$$

где  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка [9];  $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$  кг – масса покоя электрона [9];  $v_{en1}^*$ ,  $v_{en2}^*$  – соответственно усредненные значения квантованных скоростей дрейфа свободных электронов в последовательно соединенных между собой проводниках 1 и 2 различного поперечного сечения.

Известно, что для величин усредненных скоростей  $v_{en1}^*$  и  $v_{en2}^*$  дрейфа

свободных электронов в изучаемых проводниках 1 и 2 можно записать [8,9]:

$$v_{en1}^* = \delta_{01} / (e_0 n_{e1}); \tag{13}$$

$$v_{en2}^* = \delta_{02} / (e_0 n_{e2}), \qquad (14)$$

где  $\delta_{01}$ ,  $\delta_{02}$  – соответственно плотности импульсного аксиального тока в исследуемых проводниках линейной цепи;  $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл – модуль электрического заряда электрона;  $n_{e1}$ ,  $n_{e2}$  – соответственно плотности (концентрации) дрейфующих свободных электронов в металлических проводниках.

Так как для рассматриваемого первого варианта случая II  $n_{e1} = n_{e2} = n_{e0}$ , а  $\delta_{01} = i_0 / S_1$  и  $\delta_{02} = i_0 / S_2$ , то с учетом выражений (11)–(14) для величин минимальных длин  $\lambda_{en1}^*/2$  и  $\lambda_{en2}^*/2$  электронных полуволн де Бройля в металлических проводниках 1 и 2 получаем следующие расчетные соотношения:

$$\lambda_{en1}^* / 2 = e_0 n_{e0} S_1 h / (2m_e I_{0m});$$
(15)

$$\lambda_{en2}^*/2 = e_0 n_{e0} S_2 h / (2m_e I_{0m}).$$
<sup>(16)</sup>

Тогда из (15) и (16) для отношения усредненных длин  $\lambda_{en1}^*/2$  и  $\lambda_{en2}^*/2$  дебройлевских электронных полуволн (волн) в исследуемых разнородных проводниках 1 и 2 одинаковой длины  $l_1 = l_2$  и различного сечения  $S_1 > S_2$ , выполненных из идентичного электропроводящего материала, для одной и той же линейной электрической цепи с импульсным током  $i_0(t)$  находим:

$$\lambda_{en1}^* / \lambda_{en2}^* = S_1 / S_2 . \tag{17}$$

Для первого варианта случая II (применение одинаковых проводящих материалов в проводниках 1 и 2 различного сечения) на основе применения соотношения неопределенностей Гейзенберга к дрейфующим в проводниках 1 и 2 свободным электронам минимальные усредненные ширины (длины)  $\Delta z_{21}^*$  и  $\Delta z_{22}^*$  их «горячих» продольных участков будут описываться выражениями:

$$\Delta z_{21}^* = e_0 n_{e0} S_1 h / (4\pi m_e I_{0m}); \qquad (18)$$

$$\Delta z_{22}^* = e_0 n_{e0} S_2 h / (4\pi m_e I_{0m}) .$$
<sup>(19)</sup>

Из (18) и (19) следует, что отношение минимальных усредненных ширин или длин  $\Delta z_{21}^*$  и  $\Delta z_{22}^*$  «горячих» продольных участков исследуемых проводников 1 и 2 в рассматриваемом электротехническом случае будет равным:

$$\Delta z_{21}^* / \Delta z_{22}^* = S_1 / S_2 . \tag{20}$$

Что касается второго варианта случая II (применение различных металлов в проводниках 1 и 2 различного сечения), то аналогично (15) и (16) величины минимальных усредненных длин дебройлевских электронных полуволн в кристаллических структурах рассматриваемых проводников 1 и 2 будут описываться следующими приближенными расчетными соотношениями:

$$\lambda_{en1}^* / 2 = e_0 n_{e1} S_1 h / (2m_e I_{0m}); \qquad (21)$$

$$\lambda_{en2}^*/2 = e_0 n_{e2} S_2 h / (2m_e I_{0m}) .$$
<sup>(22)</sup>

С учетом (21) и (22) для отношения усредненных длин  $\lambda_{en1}^*/2$  и  $\lambda_{en2}^*/2$  электронных полуволн де Бройля в проводниках 1 и 2 из различных проводящих материалов и различного поперечного сечения  $S_1 > S_2$  получаем:

$$\lambda_{en1}^* / \lambda_{en2}^* = S_1 n_{e1} / (S_2 n_{e2}).$$
<sup>(23)</sup>

Для этого варианта выполнения металлических токонесущих частей исследуемых проводов с учетом (18) и (19) отношение минимальных усредненных ширин (длин)  $\Delta z_{21}^*$  и  $\Delta z_{22}^*$  для «горячих» продольных участков в используемых нами проводниках 1 и 2 в электрической цепи примет следующий вид:

$$\Delta z_{21}^* / \Delta z_{22}^* = S_1 \ n_{e1} / (S_2 \ n_{e2}) .$$
<sup>(24)</sup>

Из (23) и (24) видно, что отношения  $\lambda_{en1}^* / \lambda_{en2}^*$  и  $\Delta z_{21}^* / \Delta z_{22}^*$  для рассматриваемых проводников 1 и 2 применительно ко второму варианту случая II их практической реализации описываются одинаковыми соотношениями, равными  $S_1 n_{e1} / (S_2 n_{e2})$ . В этой связи можно заключить, что при использовании в цепи с током последовательного соединения проводников различного сечения  $S_1 > S_2$  будет наблюдаться также определенная трансформация распространяющихся в них электронных полуволн. При этом будут изменяться как их длины  $\lambda_{en1}^* / 2$  и  $\lambda_{en2}^* / 2$ , так и ширины  $\Delta z_{21}^*$  и  $\Delta z_{22}^*$  «горячих» продольных участков проводников 1 и 2. Эти изменения будут прямо пропорциональны отношению сечений  $S_1 / S_2$  проводников. Тем больше сечение проводника в цепи, тем будут бо́льшими значения длин  $\lambda_{en1}^* / 2$  (или  $\lambda_{en2}^* / 2$ ) его электронных полуволн и ширин  $\Delta z_{21}^*$  (или  $\Delta z_{22}^*$ ) его «горячих» участков. Данный результат может найти практическое применение в электровзрывной технологии получения мелкодисперсных проводящих материалов [10–12].

Выводы. Приведенные на основе классической и квантовой электродинамики приближенные расчетные результаты указывают на возможность трансформации (изменения) длин электронных полуволн де Бройля и ширин «горячих» продольных участков в последовательно соединенных разнородных проводниках одной электрической цепи с импульсным током различных АВП.

Список литературы: 1. Баранов М.И. Волновое распределение свободных электронов в про-

воднике с электрическим током проводимости // Электротехника. - 2005. - № 7. - С. 25-33. 2. Баранов М.И. Энергетический и частотный спектры свободных электронов проводника с электрическим током проводимости // Электротехника. – 2006. – № 7. – С. 29–34. 3. Баранов М.И. Новые физические подходы и механизмы при изучении процессов формирования и распределения электрического тока проводимости в проводнике // Технічна електродинаміка. - 2007. - № 1. - С. 13-19. **4.** Баранов М.И., Рудаков С.В. Усредненные характеристики волнового распределения дрейфующих электронов в металлическом проводнике с импульсным током проводимости большой плотности // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Серія: «Техніка та електрофізика високих напруг».- Х.: НТУ «ХПІ», 2013. - № 60 (1033). - С. 12-20. 5. Баранов М.И. Волновой электронный пакет проводника с электрическим током проводимости // Електротехніка і електромеханіка. - 2006. - № 3. - С. 49-53. 6. Баранов М.И. Квантовомеханический подход при расчете температуры нагрева проводника электрическим током проводимости // Технічна електродинаміка. – 2007. – № 5. – С. 14–19. 7. Баранов М.И. Основные характеристики вероятностного распределения свободных электронов в проводнике с электрическим током проводимости // Технічна електродинаміка. – 2008. – № 1. – С. 8–12. 8. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики. Том 2, Кн. 1: Теория электрофизических эффектов и задач. - Х.: НТУ «ХПИ», 2009. - 384 с. 9. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. - К.: Наукова думка, 1989. – 864 с. 10. Столович Н.Н. Электровзрывные преобразователи энергии / Под ред. В.Н. Карнюшина. – Минск: Наука и техника, 1983. – 151 с. 11. Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий. - К.: Наукова думка, 1990. - 208 с. 12. Баранов М.И. Получение дисперсных материалов с микронными, субмикронными и наноструктурными частицами вещества при электрическом взрыве тонких металлических проводников // Електротехніка і електромеханіка. - 2012. - № 4. - С. 45-49.

**Bibliography (transliterated):** 1. Baranov M.I. Volnovoe raspredelenie svobodnyh jelektronov v provodnike s jelektricheskim tokom provodimosti Jelektrotehnika. - 2005. - No 7.- 25-33. 2. Baranov M.I. Jenergeticheskij i chastotnyj spektry svobodnyh jelektronov provodnika s jelektricheskim tokom provodimosti Jelektrotehnika. - 2006. - № 7. - 29-34. 3. Baranov M.I. Novye fizicheskie podhody i mehanizmy pri izuchenii processov formirovanija i raspredelenija jelektricheskogo toka provodimosti v provodnike Tehnichna elektrodinamika. – 2007. – № 1. – 13–19. 4. Baranov M.I., Rudakov S.V. Usrednennye harakteristiki volnovogo raspredelenija drejfujushhih jelektronov v metallicheskom provodnike s impul'snym tokom provodimosti bol'shoj plotnosti Visnyk NTU «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Serija: «Tehnika ta elektrofizika visokih naprug». – H.: NTU «HPI», 2013. – № 60 (1033). – 12–20. 5. Baranov M.I. Volnovoj jelektronnyj paket provodnika s jelektricheskim tokom provodimosti Elektrotehnika i elektromehanika. – 2006. – № 3. – 49–53. 6. Baranov M.I. Kvantovomeha-nicheskij podhod pri raschete temperatury nagreva provodnika jelektricheskim tokom provodimosti Tehnichna elektrodinamika. – 2007. – № 5. – 14–19. 7. Baranov M.I. Osnovnye harakteristiki verojatnostnogo raspredelenija svobodnyh jelektronov v provodnike s jelektricheskim tokom provodimosti Tehnichna elektrodinamika. – 2008. – № 1. – 8–12. 8. Baranov M.I. Izbrannye voprosy jelektrofiziki. Tom 2, Kn. 1: Teorija jelektrofizicheskih jeffektov i zadach. – H.: NTU «HPI», 2009. – 384. 9. Kuz'michev V.E. Zakony i formuly fiziki Otv. red. V.K. Tartakovskij. - K.: Naukova dumka, 1989. - 864. 10. Stolovich N.N. Jelektrovzryvnye preobrazovateli jenergii Pod red. V.N. Karnjushina. - Minsk: Nauka i tehnika, 1983. – 151. 11. Gulyj G.A. Nauchnye osnovy razrjadno-impul'snyh tehnologij. – K.: Naukova dumka, 1990. - 208. 12. Baranov M.I. Poluchenie dispersnyh materialov s mikronnymi, submikronnymi i nanostrukturnymi chasticami veshhestva pri jelektricheskom vzryve tonkih metallicheskih provodnikov Elektrotehnika i elektromehanika. - 2012. - № 4.-45-49.

Надійшла (received) 25.03.2014

## УДК 621.3.022:537.311.8:621.7.044.7

Трансформація електронних півхвиль в електричному ланцюзі з різнорідними металевими провідниками та імпульсним струмом великої щільності / М.И. Баранов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 21 (1064). – С. 3-11. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-0740.

Приведені результати теоретичного дослідження зміни параметрів електронних півхвиль

де Бройля у разі їх розповсюдження в одному електричному колі вздовж металевих провідників з різними довжинами і поперечними перерізами. Показано, що подібна трансформація параметрів дебройлівських електронних напівхвиль стосується як їх довжини, так і ширини «гарячих» поздовжніх ділянок різнорідних провідників.

**Ключові слова:** електричне коло, металевий провідник, електрони, що дрейфують, імпульсний струм провідності, електронні півхвилі, характеристики подовжнього хвилевого розподілу вільних електронів.

## УДК 621.3.022:537.311.8:621.7.044.7

Трансформация электронных полуволн в электрической цепи с разнородными металлическими проводниками и импульсным током большой плотности / М.И. Баранов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 21 (1064). – С. 3-11. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-0740.

Приведены результаты теоретического исследования изменения параметров электронных полуволн де Бройля в случае их распространения в одной электрической цепи вдоль металлических проводников с различными длинами и поперечными сечениями. Показано, что подобная трансформация параметров дебройлевских электронных полуволн касается как их длины, так и ширины «горячих» продольных участков разнородных проводников.

**Ключевые слова:** электрическая цепь, металлический проводник, дрейфующие электроны, импульсный ток проводимости, электронные полуволны, характеристики продольного волнового распределения свободных электронов.

Transformation of half-waves in the electronic circuit with dissimilar metallic conductors and high pulse current density / M.I Baranov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 21 (1064). – P. 3-11. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-0740.

The results of theoretical research of change of parameters of electronic semiwaves are resulted de Broylya in the case of their distribution in one electric chain along metallic explorers with different lengths and by cross runners. It is shown that this transformation parameters of de Broglie waves of electronic semi waves regard as their lengths and widths of the "hot" longitudinal portions dissimilar conductors.

**Key words:** electric chain, metallic explorer, drifting electrons, impulsive current of conductivity, electronic semiwaves, descriptions of the longitudinal wave distributing of lone electrons.